

60kV級CVケーブルにおける水トリーのモデル化と損失電流の評価に関する研究

著者	原 哲也
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	90
号	1
ページ	96-97
発行年	2021-08-20
URL	http://hdl.handle.net/10097/00132827

修士学位論文要約（令和3年3月）

60kV 級 CV ケーブルにおける水トリーのモデル化と 損失電流の評価に関する研究

原 哲也

指導教員：斎藤 浩海， 研究指導教員：八島 政史

Study on Modeling of Water Trees and Evaluation of Loss Current in 60 kV Class XLPE Cable

Tetsuya HARA

Supervisor : H. SAITOH, Research Advisor : M. YASHIMA

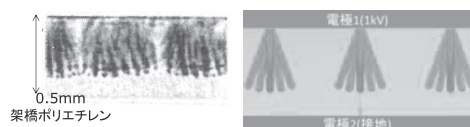
Water tree is one of the causes of insulation deterioration of cross-linked polyethylene (XLPE) cables. In this study, modeling method for water trees found in XLPE cables at 60 kV class is considered in the two-dimensional rotational symmetry field and three-dimensional field, and influence of types, shapes, and locations of the water trees on AC loss current and maximum electric field is examined by using transient electric field analysis.

1. はじめに

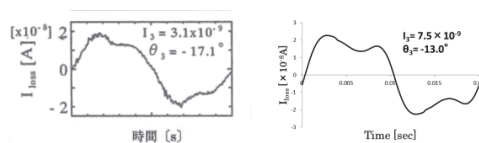
CV ケーブルの絶縁劣化の主要因のひとつとして水トリーが挙げられる。60 kV 級の遮水層が付与されていない CV ケーブルでは、細長く伸展した水トリーが絶縁性能低下要因として認識されており¹⁾、このような水トリーに起因する劣化信号を検出する必要がある。近年、等価回路モデルを用いた解析により、水トリーのような複雑な形状を内包する誘電体を流れる交流損失電流波形などの評価が試みられている。一方、水トリーを電界モデルで模擬できれば、形状や存在箇所を自在に与えることができ、電界の評価も可能となる。本研究では、劣化診断手法として実用化されている交流損失電流法に注目し、60 kV 級撤去 CV ケーブルから検出された細長く伸展した水トリーに対して、有限要素法を用いた過渡電界解析を適用し、2 次元回転対称場および 3 次元場において、形状、存在箇所が異なる各種水トリーの交流損失電流および水トリー先端の最大電界の値を評価した。

2. 水トリー電界モデルの作成と適用

<2.1> シート状試料への適用 水トリーの電界モデルの妥当性を検討するために、文献 2) に記載されている水トリーの写真と水トリーの V-I 特性を参照し、有限要素法に基づく電界解析ソフトウェア (Siemens 社製, Simcenter MAGNET Electric) を用いて、水トリーを解析空間上で図 1 のように再現し、損失電流波形の測定結果と解析結果を比較した。図 2 にその結果を示す。損失電流の第 3 高調波成分 I_3 のオーダーが等しく、ピーク値が 2 つ存在するといった類似点があることから、本電界モデルと解析ツールの妥当性を確認できたと考えられる。



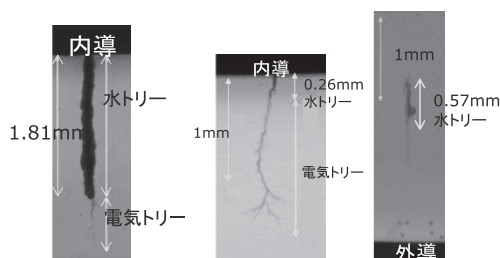
(a) 水トリー試料²⁾ (b) 解析モデル
図 1 シート状試料の水トリーと解析モデル



(a) 測定結果²⁾ (b) 解析結果

図 2 損失電流波形の測定結果と解析結果

<2.2> 実ケーブルへの適用 図 3 に示す 60kV 級撤去 CV ケーブルにて検出された内導水トリーやボウタイトリー¹⁾ (以下 BTT) から、形状や存在箇所を 2 次元回転対称場に投影しモデル化した。解析では実効値



(a) 内導水トリー (b) 内導到達 BTT (c) 内外導非到達 BTT
図 3 60kV 級 CV ケーブルで検出された水トリー¹⁾

で38kVの50Hz交流電圧下で、絶縁厚11mmの平行平板電極間を流れる交流損失電流および水トリート先端の最大電界を算出した。

3種類の水トリートに対する損失電流の基本波成分 I_1 、第3高調波成分 I_3 、水トリート先端の最大電界 E_{max} の解析結果を表1に示す。水トリートが長くなるほど I_1 、 I_3 は増加した。 E_{max} は先端が鋭い水トリートほど大きな値を示した。このため、損失電流が小さい値を示す短い水トリートでも、絶縁性能の低下要因となる可能性がある。

表1 各種水トリートに対する損失電流と最大電界の解析結果

	(a) 内導水トリート (1.81mm)	(b) 内導到達ボウタイトリート (0.26mm)	(c) 内外導非到達ボウタイトリート (0.57mm)
I_1 [A]	2.70×10^{-9}	6.26×10^{-12}	1.89×10^{-11}
I_3 [A]	1.23×10^{-9}	2.68×10^{-12}	8.15×10^{-12}
E_{max} [kV/mm]	103	196	177

3. 60kV級CVケーブルの水トリートを想定した交流損失電流と最大電界の値

<3.1> 2次元回転対称場での解析 CVケーブルの架橋ポリエチレン絶縁層内の電界は内部導体から外部導体に向かうほど低くなり、不平等電界となっている。そのため、水トリートの存在位置によって交流損失電流や最大電界が変わる可能性がある。このような不平等電界を2次元回転対称場で再現するために、同心球電極配置を仮定した。図1(a)、(c)に示す2種類の水トリートの形状と存在箇所をモデル化して解析を行った。電極間において、内導水トリートの長さやBTTの位置を変えて交流損失電流および最大電界を算出した。高電圧側電極の半径は31mm、接地側電極の半径は42mmに設定した。内導水トリートの長さは1mm、1.81mm、2.5mmで、BTTの存在箇所は接地電極から1.3mm、5.3mm、9.3mm離れた位置に設定した。実効値で38kVの50Hzの交流電圧下で同心球電極の間に存在する厚さ11mmの架橋ポリエチレン間を流れる交流損失電流および水トリート先端の最大電界を算出した。

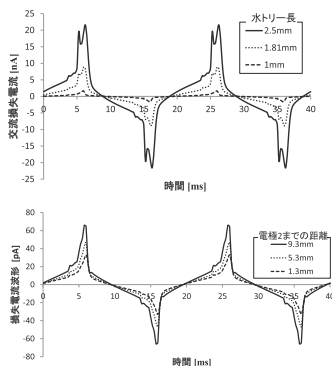


図4 内導水トリート(上)とBTT(下)の損失電流波形の解析結果

損失電流波形の解析結果を図4に示す。内導水トリートの長さが増加、またはBTTが高電圧電極に接近するほど、損失電流や最大電界の値が増加した。BTTが高電圧電極に接近するほど損失電流や最大電界の値が増加するのは、これらが背景電界分布に依存しているためだと考えられる。

<3.2> 3次元場での解析 CVケーブルの構造を考慮して交流損失電流および最大電界を求めるため、3次元場で図1(a)の内導水トリートをモデル化して、解析を試みた。実効値で38kVの50Hz交流電圧下で同軸円筒電極間の交流損失電流と最大電界の値を算出した。電極間には厚さ1mmの内部半導電層、外部半導電層を設定した。また、外部回路として電圧源の接続を想定し、その内部抵抗(500Ω程度)を考慮して、内部導体と内部半導電層の間に厚さ1mmの抵抗層を設置した。

平行平板電極、同心球電極、同軸円筒電極の各配置での交流損失電流波形の解析結果を図5に示す。最大電界の値はそれぞれ103kV/mm、143kV/mm、146kV/mmであった。同心球電極と同軸円筒電極での解析では、ほぼ同じ波形と最大電界の値が得られることが分かった。平行平板電極での解析だけ損失電流や E_{max} が小さいのは不平等電界を考慮されておらず、背景電界が小さいためだと考えられる。

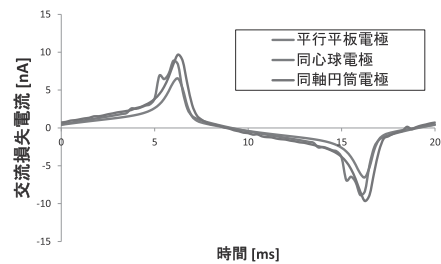


図5 3種類の解析場での損失電流波形

4. まとめ

実ケーブルから検出された水トリートに対して電界モデルを作成し、交流損失電流、最大電界の評価が可能であることを確認できた。3次元場での水トリート解析により、実ケーブルの構造や水トリートの形状・本数・存在箇所などを自在に変化させて解析するシミュレーションが可能となった。

文献

- 1) 高橋俊裕 ほか:「乾式架橋方式60kV級撤去CVケーブルの絶縁破壊前駆遮断による絶縁性能の経年低下特性と低下要因の把握」, 電学論B, Vol.140, No.4, pp.299-304 (2020)
- 2) 八木幸弘 ほか:「損失電流高調波成分によるCVケーブル劣化診断法の検討」, 電学論B, Vol.119, No.4, pp.438-444 (1999)